



А.М. Газизов
Е.С. Синегубова

РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ОТХОДОВ ДРЕВЕСИНЫ

Екатеринбург
2017

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ

ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра инновационных технологий и оборудования деревообработки

А.М. Газизов

Е.С. Синегубова

РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ОТХОДОВ ДРЕВЕСИНЫ

Учебно-методическое пособие
к лабораторным занятиям по курсу
«Технология клееных деревянных конструкций»
для обучающихся по направлению 35.03.02 «Технология
лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств»
очной и заочной форм обучения

Екатеринбург
2017

Печатается по рекомендации методической комиссии ИЛБиДС.
Протокол № 1 от 20 октября 2016 г.

Рецензент – Чернышов О.Н., доцент, кандидат технических наук

Редактор А.Л. Ленская
Оператор компьютерной верстки Е.А. Газеева

Подписано в печать 10.04.17		Поз. 53
Плоская печать	Формат 60×84 1/16	Тираж 10 экз.
Заказ №	Печ. л. 0,93	Цена руб. коп.

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

ВВЕДЕНИЕ

В производстве композиционных строительных материалов широко используются измельченная древесина, опилки, станочная стружка, дробленая кора. Получаемые путем прессования изделия на такой основе отличаются высокими теплоизоляционными свойствами, малой себестоимостью и удобством при выполнении строительно-монтажных работ. Особое значение имеет утилизация древесных отходов на предприятиях лесного комплекса.

В настоящее время наибольшее распространение получило производство относительно простых композиционных материалов и изделий, таких, как шлакоопилочные блоки, прессованные рельефные облицовочные панели, опилкобетон, фибролитовые, ячеистые, экструзионные и другие виды плит. Связующими веществами являются синтетические смолы или минеральные продукты типа цемента. Во многих случаях технологические процессы производства древесных прессованных изделий базируются на известных способах получения цементно-стружечных и древесно-стружечных плитных материалов, но имеют более простое и дешевое техническое оснащение. Как правило, это сопутствующие основному производству участки или цехи, главная задача которых – эффективная утилизация отходов деревообработки.

Для обеспечения рыночного спроса на такую продукцию и прибыльности от ее изготовления необходимо следующее:

- разработать эффективную по технологии, материально-сырьевым затратам и эксплуатационным показателям конструкцию изделия;
- предусмотреть многоцелевое использование выпускаемых материалов в современных строительных конструкциях;
- максимально использовать вторичные сырьевые ресурсы и основную техническую базу деревообрабатывающего предприятия.

1. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИЗДЕЛИЯ (МАТЕРИАЛА)

Конструкцию изделия следует выбирать или разрабатывать, исходя из предполагаемых условий и требований по его использованию в строительном объекте. Для проведения основных технологических расчетов и определения потребности в материально-сырьевых ресурсах необходимо эскизно представить схему изделия с указанием геометрических параметров всех его элементов. На рис. 1 и рис. 2 приведены примеры эскизной разработки древесно-стружечных плитных материалов с рельефной поверхностью и формованными ячейками или пустотами.

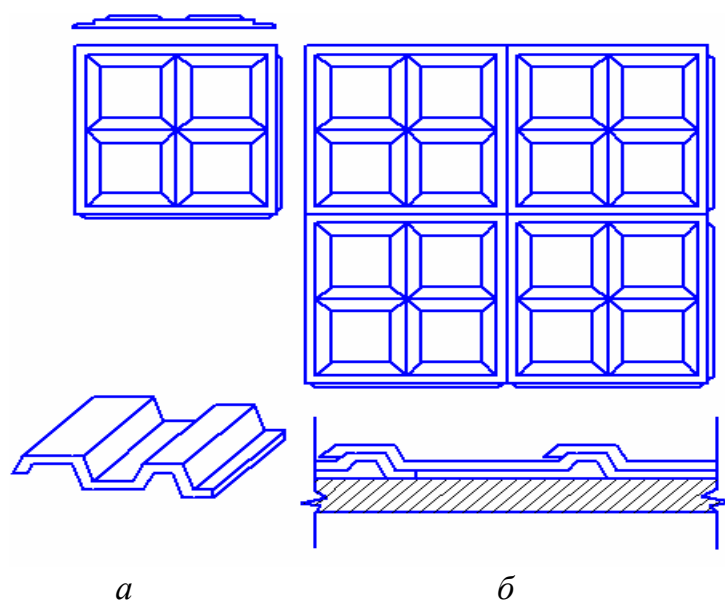


Рис. 1. Прессованные облицовочные плитные материалы
и изделия из отходов древесины:
а – облицовочная панель квадратной формы с рельефной поверхностью;
б – прессованная узкая облицовочная панель для отделки поверхностей
без торцовых стыков

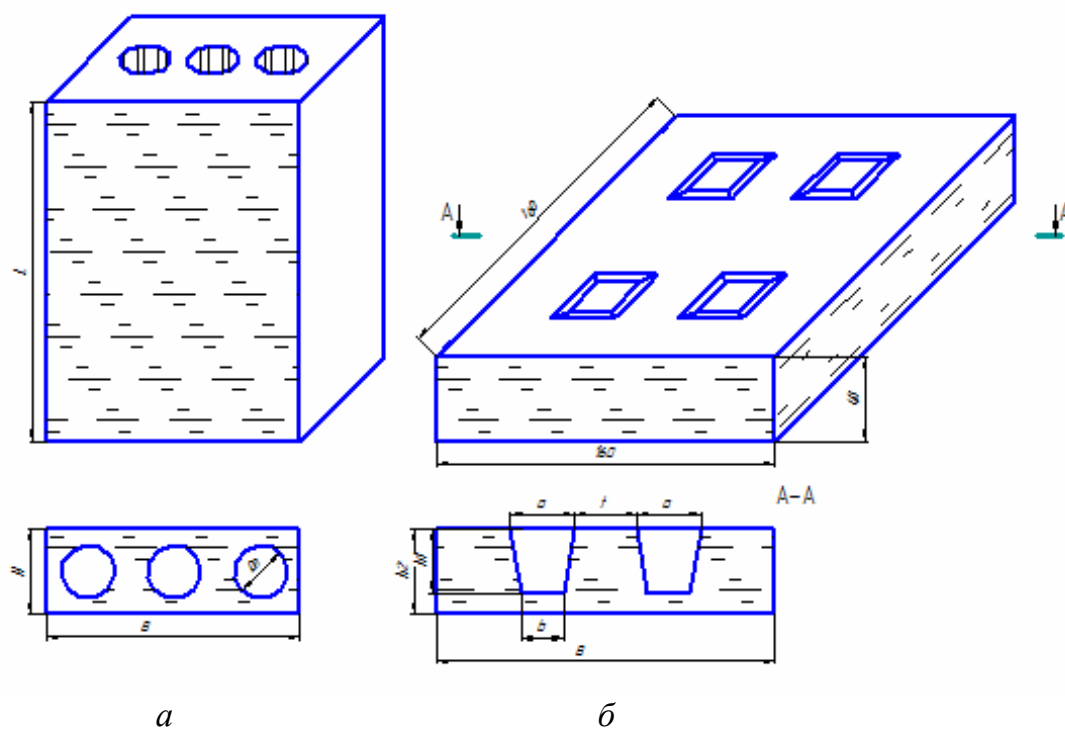


Рис. 2. Облегченные древесно-стружечные плиты для стеновых
панелей легких домов и построек:
а – экструзионная многопустотная плита;
б – плита плоского прессования с ячеистой поверхностью

Из всех приведенных выше плитных материалов могут быть составлены определенные типы конструкций, работающие в качестве самостоятельных строительных элементов объекта или в составе комбинированных изделий, например капитальных стен здания (рис. 3).

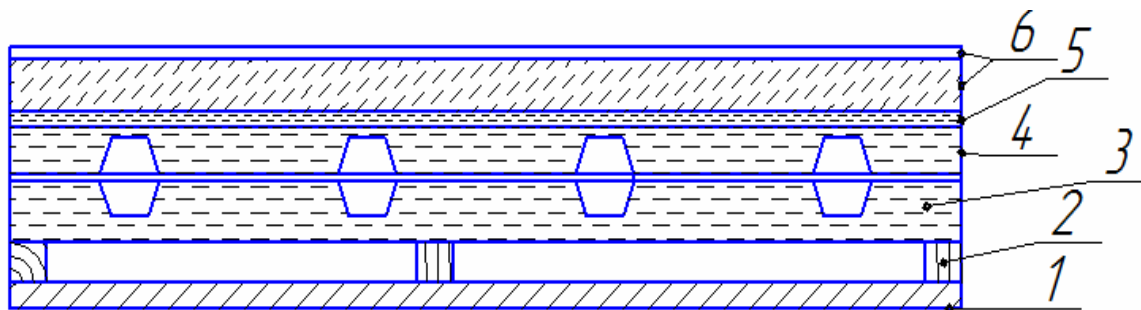


Рис. 3. Фрагмент простейшей стеновой панели на базе ячеистых плит из отходов древесины:

1 – наружная облицовка панели (ЦСП); 2 – крепежные деревянные бруски;
3 – ячеистая плита №1; 4 – ячеистая плита №2; 5 – пароизоляционная прокладка;
6 – облицовочное покрытие

В соответствии с индивидуальным заданием необходимо разработать вариант конструкции строительного изделия, выбрать и обосновать его геометрические параметры, дать краткую характеристику эксплуатационных свойств и назначения, подобрать для проектируемого плитного материала все размеры и показатели, обеспечивающие расчет сырья и клеящих веществ (табл. 1).

Таблица 1

Параметры плит

Наименование изделия	Размеры, мм			Плотность массы, кг/м ³	Размеры ячеистых форм, мм		
	L	B	H		Форма	Размер основания	Глубина
Плита ячеистая для изоляционного слоя стеновых панелей	2500	1250	40	700	Усеченная пирамида	Квадрат 40 x 40 20 x 20	25

Краткая характеристика изделия

1. Назначение – элемент стеновых панелей и перегородок, обеспечивающий заполнение внутреннего пространства ограждающих конструкций.

2. Сырье и материалы:

- измельченные отходы древесины (опилки, стружка – отходы) и специальная древесная стружка;
- связующее на основе термореактивной фенольной смолы.

3. Специфические свойства изделия:

- изготавливается из отходов древесины, ограниченно используемых в производстве стандартных древесно-стружечных плит;
- имеет сравнительно низкие показатели водопоглощения, разбухания, относительной прочности;
- может быть использовано в составе ограждающих панелей в различных комбинациях конструкций;
- имеет невысокую материалоемкость (0,3 – 0,4 кг/дм), обеспечивая небольшую массу панелей;
- обладает хорошими тепло- и звукоизоляционными свойствами;
- имеет достаточно высокие показатели жесткости конструкции за счет пространственного профиля.

4. Технологическая основа производства:

- измельчение и подготовка древесной массы;
- смешивание древесных частиц со связующим продуктом при обеспечении дозирования компонентов;
- прессование сформованных брикетов с использованием профилированных плит (по аналогии с прессованием плоских древесно-стружечных плит).

2. РАСЧЕТ ПОТРЕБЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДРЕВЕСНЫХ ПЛИТ

2.1. Определение и назначение нормативных расходных показателей

Эти параметры принимаются в соответствии с общими рекомендациями для древесных плитных материалов. Норма расхода синтетического связующего назначается в зависимости от породы древесины, размера и формы древесных частиц (табл. 2).

При использовании смеси пород древесины норму расхода смолы определяют как средневзвешенную величину по формуле

$$P_{cp} = P_1 k_1 + P_2 k_2 + P_3 k_3 , \quad (1)$$

где P_1, P_2, P_3 – норма расхода связующего для данной породы древесины (табл. 2);

k_1, k_2, k_3 – доля сырья данной породы в общем объеме.

Таблица 2

Нормы расхода связующего (по сухому остатку)

Вид древесных частиц	Средние размеры частиц, мм			Доля связующего по отношению к массе абсолютно сухой стружки по породам древесины, %		
	Длина	Ширина	Толщина	Сосна, ель, пихта	Береза	Осина
Опилки	< 5	< 2,3	0,1-2,1	10-13	10-13	11-14
Стружка – отходы (станочная)	< 12	< 35	0,1-1,5	9-11	10-12	10-12
Специальная стружка: игольчатая (СИ)	< 40	< 12	0,2-0,5	9,5	10,5	11,5
мелкая (МС)	< 5	< 2	0,01-0,25	13,5	14,5	15,5

При расчете объемов потребления древесного сырья величину плотности древесины следует принимать в зависимости от влажности и породы (табл. 3).

Таблица 3

Плотность древесины

Порода древесины	Величина плотности, кг/м ³ , при влажности древесины (в %)			
	0	15	80	Условная
Сосна обыкновенная	470	510	760	421
Ель	420	450	670	350
Пихта	350	380	570	310
Береза	600	640	940	502
Осина	470	500	750	389
Тополь	430	460	690	318

Условная плотность древесины определяется по формуле

$$\rho_{\text{усл}} = \rho_0 \left(1 - \frac{Y_{\text{об}}}{100} \right), \quad (2)$$

где $\rho_{\text{усл}}$ – условная плотность древесины, кг/м³;

ρ_0 – плотность абсолютно сухой древесины, кг/м³;

$Y_{\text{об}}$ – объемная усушка при влажности древесины 30 %.

Средневзвешенная плотность древесины ($\rho_{\text{ср.др}}$) определяется по формуле

$$\rho_{\text{ср.др}} = \frac{\rho_1 P_1 + \rho_2 P_2 + \rho_3 P_3}{100}, \quad (3)$$

где ρ_1, ρ_2, ρ_3 – плотность древесины каждой породы, кг/м³ (выбирается по табл. 3);

P_1, P_2, P_3 – процент данной породы в общем объеме сырья.

Коэффициент полндревесности – это соотношение между складочной массой сырья и плотной в объеме 1 м³ при одинаковой влажности древесины. Объем древесных отходов в плотной массе ($V_{скл.пл.}$) рассчитывается по формуле

$$V_{отх.пл.} = V_{скл} K_v, \quad (4)$$

где $V_{скл}$ – объем древесных отходов в складочной массе, м³;

K_v – коэффициент полндревесности (принимается по табл. 4).

Подбор параметров связующего следует проводить с учетом общих рекомендаций для ДСтП и на основании данных табл. 5.

Таблица 4

Нормативные коэффициенты полндревесности
древесных отходов

Вид отходов	Размеры, мм		Влажность, %	Коэффициент полндревесности
	Длина	Ширина		
Обапол (горбыль)	1200		-	0,635
Рейки	2000 – 4000	От 20	-	0,48 – 0,53
Рейка короткомерная	500 – 1000	50	-	0,62 – 0,69
Срезки	500	20 – 30		0,57
Щепа технологическая	Стандарт.	Стандарт.	100	0,36 – 0,40
Дробленка	-	-	-	0,375
Стружка	-	-	100	0,1 – 0,20
Опилки несслежавшиеся	-	-	40	0,25

Таблица 5

Нормативные параметры связующего на основе карбамидных смол
для производства композиционных материалов

Наименование показателя	Значения показателей для сырья		
	Опилки и стружка – отходы	Специальная резаная игольчатая стружка	Стружка мелкая и микростружка
Концентрация смолы (исходная), %	64 – 67	64 – 67	64 – 67
Коэффициент рефракции	1,462 – 1,465	1,462 – 1,465	1,462 – 1,465
Концентрация свя- зующего (рабочая), %	7 – 12	7	12
Вязкость условная по ВЗ-4, с	20 – 50	20 – 50	20 – 50

Вязкость смол (связующих), применяемых для получения композиционных древесных плитных материалов, нормируется в зависимости от вида, размеров и фракционного состава частиц.

Основное требование – связующее должно полностью покрывать поверхность стружки. Так как площадь этой поверхности очень велика, то клеевой раствор приходится делать жидким, вследствие чего всегда снижается концентрация смолы (если вязкость не уменьшают путем нагревания раствора).

При снижении содержания клеящего вещества (концентрации) в рабочем растворе увеличивается продолжительность его отверждения. Для связующих заданной концентрации определены нормативные параметры продолжительности прессования плит в стандартных условиях ведения процесса. Эти нормативы (табл. 6) могут быть приняты для расчета времени цикла в зависимости от плотности и толщины древесной плиты, температуры пресса, структуры композиции и свойств связующего.

Таблица 6

Удельная продолжительность прессования стружечных плит на карбамидном связующем

Температура прессования, °С	Продолжительность прессования 1 мм толщины плиты, мин, в зависимости от ее плотности и структуры брикета			
	Мелкая специальная резаная стружка		Отходы деревообработки (опилки, стружка)	
	$\rho_{\text{плиты}}, \text{кг/м}^3$		$\rho_{\text{плиты}}, \text{кг/м}^3$	
	500	800	500	800
160	0,35	0,52	0,31	0,42
170	0,28	0,42	0,25	0,34
180	0,26	0,37	0,22	0,30

2.2. Определение расхода сырьевых материалов

Расчет выполняется для одной плиты и 1 м^3 условного объема изделия. Условный объем включает в себя плотную прессованную массу и все имеющиеся в плите ячейки, перфорированные отверстия и т.п.

Задача

Определить расход древесного сырья и связующих (клеящих) веществ, необходимых для получения заданного количества (объема) ячеистых строительных плит. Сырье: отходы деревообработки, карбамидная смола марки КФ – МТ. Схема изделия представлена на рис. 4.

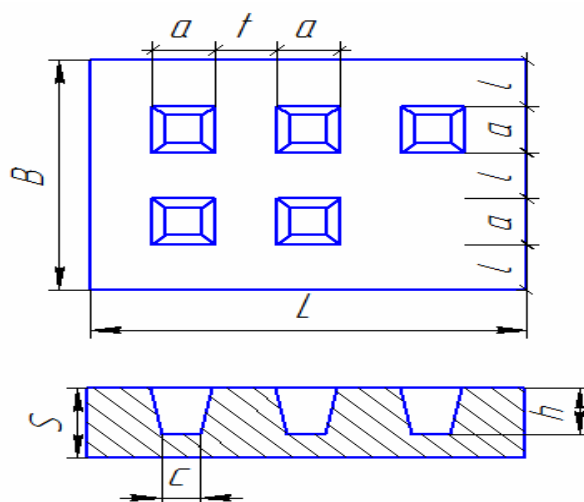


Рис. 4. Схема изделия

Приняты следующие параметры изделия:

1) габариты плиты, мм:

- ширина, $B - 1220$,
- длина, $L - 2440$,
- толщина, $S - 50$;

2) размеры ячеек, мм:

- $a - 40$,
- $c - 20$,
- $h - 30$;

3) шаг между ячейками, мм:

- $t - 40$,
- $l - 40$;

4) плотность массы плиты, кг/м^3 , $- 800$.

Решение

Величина плотной массы древесной плиты определяется по формуле

$$V_{пл} = V_m - \sum V_{O_i}, \quad (5)$$

где V_m – геометрический объем древесной массы плиты по ее габаритным размерам, м^3 ;

$\sum V_{O_i}$ – суммарный объем всех искусственных пустот (отверстий, перфораций и т. п.) в плите, м^3 .

В ячеистой плите пустоты представляют собой усеченные пирамиды (рис. 5), объем которых определяется по формуле

$$V_{нуп} = \frac{1}{3} (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 S_2}) H, \quad (6)$$

где S_1, S_2 – площадь соответственно нижнего и верхнего оснований усеченной пирамиды, м^2 .

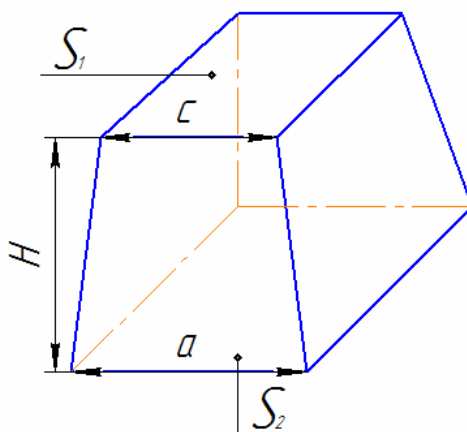


Рис. 5. Схема ячейки древесной плиты

На площади плиты 2440×1220 мм количество ячеек такого размера при шаге между ними $t=1=40$ мм составляет $n=450$ штук. Объем плотной массы плиты в данном случае рассчитывается по формуле

$$V_{пл} = V_0 - nV_{нур} = LBS - nV_{нур}, \quad (7)$$

где $V_{пл}$ – объем плотной массы плиты; м^3 ;

L – длина плиты, м;

B – ширина плиты, м;

S – толщина плиты, м;

n – количество ячеек в плите, шт.

Отсюда

$$V_{нур} = \frac{1}{3} (0,02^2 + 0,04^2 + \sqrt{0,02 \times 0,04}) 30 \times 10^{-3},$$

$$V_0 = LBS = 2,24 \times 1,22 \times 0,040 = 0,1093 \text{ м}^3,$$

$$V_{пл} = 0,1093 - 0,0126 = 0,0967 \text{ м}^3.$$

Потребность в древесной стружке и связующем

В соответствии с нормативами по производству древесных плитных материалов приняты следующие параметры:

- расход связующего ($P_{св}$) на основе карбамидной смолы по сухому остатку – 12 %;
- порода древесины – смесь сосны и березы в соотношении 50 : 50;
- вид древесных частиц - мелкая стружка после вторичного измельчения опилок и стружки (отходов ДОП);
- рабочая концентрация связующего (K) – 55 %;
- влажность древесных частиц после сушки ($W_{стр.}$) – 4 %;
- влажность готовой ячеистой плиты ($W_{пл.}$) – 8 %.

Расход массы абсолютно сухой стружки на одну плиту рассчитываем по формуле

$$m_{cmp} = \frac{\rho_{nl} V_{nl} 10^4}{(100 + V_{nl})(100 + P_{cv})}, \quad (8)$$

$$m_{cmp} = \frac{800 \times 0,0967 \times 10^4}{(100 + 8)(100 + 12)} = 63,96 \text{ кг.}$$

Масса стружки, имеющей определенную влажность, рассчитывается по формуле

$$M_W = \frac{m_{cmp}(100 + W_{cmp})}{100}, \quad (9)$$

$$M_W = \frac{63,96(100 + 4)}{100} = 66,5 \text{ кг.}$$

Расход связующего на одну плиту рассчитываем по формуле

$$G_{cv} = \frac{\rho_{nl} V_{nl} P_{cv}}{(100 + W_{nl})}, \quad (10)$$

$$G_{cv} = \frac{800 \times 0,0967 \times 12}{(100 + 8)} = 8,6 \text{ кг.}$$

Массу смолы в растворе (M_{55}) связующего при рабочей концентрации $K = 55 \%$ рассчитываем по формуле

$$M_{55} = \frac{100 G_{cv}}{K}, \quad (11)$$

$$M_{55} = \frac{100 \times 8,6}{55} = 15,64 \text{ кг.}$$

Потребность в сырьевых материалах для получения 1 м^3 ячеистых плит ($M_{стр}$) определяется по формулам:

для стружки $M_{cmp} = \frac{m_{cmp}}{V_{nl}};$ (12)

$$M_{cmp} = \frac{66,5}{0,1093} = 608,4 \text{ кг;}$$

для связующего $G_{cv} = \frac{M_{55}}{V_{nl}};$ (13)

$$G_{cv} = \frac{15,64}{0,1093} = 143,1 \text{ кг.}$$

Древесное сырье в объемном выражении ($V_{сmp}$) определяется по расчетной массе с учетом плотности древесины и коэффициента полндревесности:

$$V_{сmp} = \frac{M_{сmp}}{\rho_{сp} K_v}, \quad (14)$$

где K_v – коэффициент полндревесности (см. табл. 4), равный 0,25;

$\rho_{сp}$ – средневзвешенная плотность древесной массы пород, кг/м³;

$$\rho_{сp} = 0,5\rho_{б} + 0,5\rho_{с}.$$

Здесь $\rho_{б} = 470$ кг/м³ и $\rho_{с} = 600$ кг/м³ – соответственно плотность березы и сосны.

Для исходной влажности $W = 4 \%$

$$\rho_{сp} = 1,04 \times (0,5 \times 470 + 0,5 \times 600) = 556,4 \text{ кг/м}^3;$$

Объем древесного сырья составит:

$$V_{сmp} = \frac{608,4}{556,4 \times 0,25} = 4,37 \text{ м}^3.$$

3. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЯЧЕИСТЫХ ПЛИТ

3.1. Назначение и определение параметров прессования

Для древесно-стружечной плиты с переменным сечением определяем расстояние до наиболее удаленной от прогрева зоны пресс-массы область А (рис. 6).

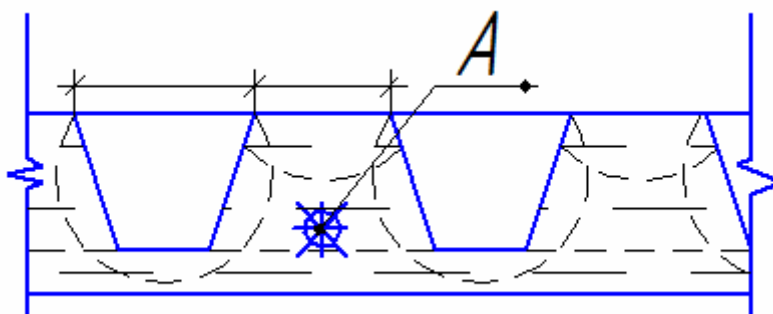


Рис. 6. Схема определения расчетной зоны прогрева стружечного брикета ячеистой плиты

Так как контактный нагрев обеспечивается по увеличенному контуру, то приблизительно эта зона для данного случая окажется на расстоянии $(0,35 - 0,40) S$ от нижней плоской плиты, это примерно 14 – 16 мм.

Удельное время прессования при температуре плит пресса 160°C составляет 0,42 мин/мм. Общая продолжительность цикла определится по формуле

$$T_{\text{ц}} = (0,35 - 0,40) S T_{\text{уд}}, \quad (15)$$

$$T_{\text{ц}} = (14 - 16) \times 0,42 = 5,88 - 6,72 \text{ мин.}$$

Принимаем $T_{\text{ц}} = 6,5$ мин.

При изготовлении тонких плитных материалов на основе древесной стружки и синтетического связующего возможно использование более высоких температур ($180 - 200^{\circ}\text{C}$). Режим изменения давления пресса на стружечно-клеевую массу принимается аналогично схеме для типовых древесно-стружечных плит (рис. 7). В зависимости от плотности плит и удельной продолжительности прессования начальное давление на брикет составляет 2,2 – 3,1 МПа.

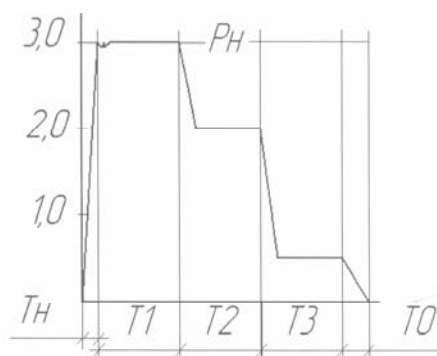


Рис. 7. График режимного изменения давления плит пресса на прессуемый материал (ячеистую плиту)

Время прессования составляет $T_1 = T_2 = T_3 = T_{\text{общ}}$,
 $T_1 = 2$ мин,
 $T_4 = 0,1 T_0 = 39$ с.

3.2. Производительность пресса

Производительность пресса для древесных плит определяется по формуле

$$П = \frac{60 L S B n K_u}{T_0 + T_e}, \quad (16)$$

где Π – объем выпуска плит за один час, м³/ч;
 L, S, B – габаритные размеры ячеистой плиты, м;
 n – количество этажей в прессе;
 K_u – усредненный коэффициент использования рабочего времени
 $(K = 0,82 - 0,87)$;
 T_o, T_v – соответственно затраты времени на прессование и вспомога-
 тельные операции, мин.

В данных расчетах затраты времени на вспомогательные операции по загрузке – разгрузке пресса, смыканию – размыканию плит и созданию рабочего давления в системе принимаются укрупненно в размере 1–2 мин, то есть $(0,15 - 0,30)T_0$.

$$\Pi = \frac{60 \times 1,22 \times 2,44 \times 0,04 \times 0,85}{6,5 + 1,5} = 7,6 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

4. Контрольные задания

Определить параметры конструкции изделия, рассчитать потребление сырья и материалов, назначить режимные параметры технологического процесса, составить структурную схему производства и дать краткое описание технологии заданного вида прессованных материалов строительного назначения.

Варианты заданий

1. Облицовочная панель из мелких и волокнистых древесных частиц.
2. Ячеистая плита из измельченных отходов древесины на лесопильно-деревообрабатывающем предприятии.
3. Перфорированная трехслойная древесно-стружечная плита.
4. Древесная плита из ориентированной стружки, облицованная лущеным шпоном.
5. Опилочно-стружечная плита с двухсторонними ребрами жесткости.
6. Экструзионная многопустотная древесно-стружечная плита из отходов лесопиления.

Список рекомендованной литературы

1. Отлев И.А. Технологические расчеты в производстве древесно-стружечных плит. М., 1979.
2. Петри В.Н., Пермикин Н.П., Черемисин А.А. Древесно-опилочные плиты и изделия. М., 1966.
3. Гарасевич Г.И., Семеновский А.А. Панели из древесно-клеевых композиций. Эксперсс-информация «Плиты и фанера», вып. 1, М., 1990.
4. Пермикин И.П., Семеновский А.Р. Использование отходов деревообработки и защита древесины антисептиками. Свердловск, 1964.
5. Левинский Ю.Б. Древесная плита из отходов шпона. Информ. лист. № 59 – 95, г. Екатеринбург, 1995.
6. Гарасевич Г.И. Панель для наружной облицовки зданий (реклама). Киев, 1985.
7. Гарасевич Г.И. Панель облицовочная (реклама). Киев, 1984.
8. Анненков В.Ф., Гук В.К., Янцо В.М. Изготовление прессованных деталей и изделий из отходов древесины. Киев, 1986.